

Integración De La Biodiversidad En La Reducción De La Contaminación En Agua

Jesús A. QUINTERO CARDOZO*, Luis F. PRADO-CASTILLO, Gustavo
GRANADOS ZARTA, Edwin M. MENESES QUINTERO, Hernán DEVIA
COGOLLO

Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ, Centro de Investigaciones Santa Lucia. Km 14 vía Barrancabermeja – Bucaramanga,
vereda el Zarzal, Colombia.

*Corresponding Author Email: jesus.quintero@unipaz.edu.co.

Resumen— Una de las principales causas de la contaminación de los diferentes cuerpos de agua es la cantidad de nutrientes y materia orgánica (MO) que son vertidos como resultado de las diferentes actividades antrópicas; el excesivo enriquecimiento del agua, principalmente con Nitrógeno (N) y Fosforo (P), genera un deterioro del recurso hídrico y en general de los ecosistemas acuáticos debido a la afectación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua. En esta investigación se presentan los resultados de la evaluación de dos especies de plantas emergentes *Scirpus californicus* y *Typha angustifolia* nativas de la zona de estudio utilizadas para la remoción de materia orgánica en sistemas de humedales artificiales. Se obtuvo un porcentaje de remoción de materia orgánica de 86,52 y 86,3% respectivamente en términos de los parámetros DBO y DQO.
Palabras claves—fitotecnologías, plantas vegetales emergentes, adsorción, sedimentación, metabolismo bacterial.

Integration of Biodiversity in Reducing Pollution in Water

Abstract— One of the main causes of pollution of the different bodies of water is the amount of nutrients and organic matter (OM) which are discharged as a result of various human activities; excessive enrichment of water, primarily nitrogen (N) and phosphorus (P), generates a deterioration of water resources and aquatic ecosystems generally due to the involvement of the physico-chemical and microbiological quality of water. In this research the results of the evaluation of two species of emergent plants native *Scirpus californicus* and *Typha angustifolia* of the study area used for the removal of organic matter in artificial wetlands systems is presented.

Keywords—phytotechnologies, emerging vegetable plants, adsorption, sedimentation, bacterial metabolism.

I. INTRODUCCIÓN

Se plantea la hipótesis que la integración de la biodiversidad en la gestión de sistemas de saneamiento ambiental proporciona soluciones viables para afrontar los desafíos socioecológicos como la contaminación antropogénica, el cambio climático y la construcción de comunidades sostenibles.

Los ecosistemas naturales han llamado la atención en las últimas décadas por su efecto significativo en el desarrollo sustentable de la humanidad. El aprovechamiento y aplicación de la biodiversidad en la recuperación de los ecosistemas degradados constituye una estrategia factible aún por explorar. Por tanto, es necesario evaluar nuevas alternativas que involucren especies y procesos que aseguren la capacidad de resiliencia de los ecosistemas.

Los sistemas socioecológicos desde sus funciones y procesos, incluyen los *servicios ecosistémicos* (SE) y el *capital natural* (CN). El primero ha sido abordado de forma creciente en las últimas décadas (p. ej. Costanza et al, 1997; Clewell 2000; MA 2005, Aronson et al. 2006). Los SE hacen referencia a un amplio rango de condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y, las especies que los conforman, ayudan a subsistir y satisfacer la vida humana. Estos mantienen la biodiversidad y la producción de bienes de los ecosistemas (Daily 1997).

El CN representa –en términos económicos- las reservas, ganancias e intereses generados a partir de los bienes naturales, es decir los flujos de bienes y servicios de los cuales dependen las sociedades y economías para su supervivencia (Aronson et al. 2007 en Prado-Castillo, 2013. Cada vez existen más evidencias de cómo la degradación del capital natural y la pérdida de servicios de los ecosistemas es una de las mayores barreras para el logro del conjunto de los

Objetivos del Milenio-ODM (www.un.org/millenniumgoals). El ODM 7 “garantiza la sostenibilidad ambiental”, más allá de constituir una preocupación sectorial, debe convertirse en un objetivo transversal y básico para el logro de los demás ODM. En este sentido, es imprescindible reconocer el papel fundamental de la conservación y la restauración del capital natural como una verdadera herramienta de desarrollo y lucha contra la pobreza (Martín-López et al. 2013).

La *Restauración del Capital Natural* (RCN) recoge una serie de conceptos y herramientas que pretenden dicha integración al relacionar directamente el incremento, la inversión o la recuperación de las reservas de CN con la finalidad de promover el bienestar humano y la conservación de los ecosistemas a largo plazo (Clewell y Aronson, 2006, 2007; Aronson et al. 2006, 2007).

La RCN está definida según la Alianza RNC (ver www.rncalliance.org) como “cualquier actividad que favorezca la recuperación de capital natural para mejorar el abastecimiento de los bienes y servicios naturales de los cuales dependen la sobrevivencia y bienestar de la sociedad”. De esta manera, el diseño de proyectos de RNC implica el buen funcionamiento de los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad, los múltiples SE, la sostenibilidad, y los beneficios sociales (Aronson et al. 2007).

El déficit en las políticas de salud pública asociado al precario manejo de residuos, gestión del agua potable y aguas residuales en comunidades rurales, constituyen una oportunidad para realizar proyectos de RNC.

El uso de tecnologías apropiadas de pequeña escala, descentralizadas, basadas en recursos locales, de operatividad y mantenimiento sencillo, y que utilizan fuentes naturales de energía, no contaminantes, permitiría de acuerdo con diversos autores (p. ej. Díaz y Masera 1998; Aguilar, 1994) potenciar las capacidades productivas así como un mayor grado de bienestar y autonomía.

La presencia de material orgánico en cuerpos de agua como producto de la actividad humana disminuye la capacidad resiliente de los ecosistemas.

La investigación contempla evaluación de la capacidad de remoción de materia orgánica de las especies *Scirpus Californicus* y *Typha Angustifolia* en un humedal artificial de tipo horizontal y flujo subsuperficial a escala piloto, que permita determinar la viabilidad ecológica, social y económica en la incorporación de especies nativas en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El método utilizado en la investigación se desarrolló con la siguiente secuencia:

i). Identificación de las especies nativas emergentes del área de estudio con la ayuda de las comunidades. ii). Definición de los factores de diseño del sistema biológico. iii). Puesta en marcha de la unidad experimental. iv). Descripción morfológica de las especies en el sistema, para la determinación de la capacidad adaptativa de las especies. v). Análisis experimental de los índices de efectividad de las especies emergentes nativas utilizadas en el estudio. vi). Determinación de los índices de remoción de materia orgánica.

Diseño experimental

Se trabajó sobre un diseño factorial que tuvo como variable respuesta la concentración de materia orgánica (DQO y DBO5) en el efluente; y como factores, el tipo de patrón biológico (tres niveles: sistema con patrón biológico 1. *Scirpus Californicus*, sistema con patrón biológico 2. *Typha*

Angustifolia y sistema control blanco) y el tiempo de crecimiento de la planta (observación durante 3 meses de crecimiento). Además, se determinaron para el proceso adaptativo el pH, la conductividad y la temperatura con el propósito de proporcionar condiciones óptimas para desarrollo de las plántulas en el sistema.

Siembra de plántulas y toma de muestras

Se recolectaron en su estado natural 50 plántulas jóvenes de las especies utilizadas en el estudio. Fueron seleccionadas 10 plántulas con características morfológicas similares para ser distribuidas en el sistema con patrón biológico 1. *Scirpus Californicus*, sistema con patrón biológico 2. *Typha Angustifolia* y sistema control blanco. Cada una de las plántulas fue sembrada en el lecho filtrante del sistema (humedal artificial de flujo subsuperficial).

Posteriormente se midieron las variables de respuesta según el siguiente plan de muestreo día cero (0), dos (2), cuatro (4), ocho (8), dieciséis (16), y treinta (30), y se realizó el control diario de los parámetros conductividad, pH y temperatura por 30 días efectivos.

Análisis del laboratorio para el agua tratada.

Las muestras de agua fueron homogenizadas y caracterizadas. La evaluación contempló el análisis pre-test y post-test para determinar y verificar cuales de los sistemas obtuvo mayor remoción de materia orgánica. Todos los análisis realizados se desarrollaron siguiendo los protocolos establecidos por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 edition, 1998, (Métodos Estándar para la Examinación de Aguas y Aguas residuales institucionales, Edición 20, 1998) de la APHA. AWWA, WEF).

Análisis de datos.

Los datos de concentración de materia orgánica (DQO y DBO₅) se presentan como media +/- error estándar. Un análisis univariado fue realizado a las variables cuantitativas de los tratamientos aplicados y a su respectivo control blanco. Se determinó el análisis de medidas de tendencia central con la media, mediana, error estándar y de posición con el rango intercuartílico.

Un análisis de varianza (ANOVA) no paramétrica fue usado para estudiar la dispersión de los datos. La prueba Kruskal - wallis para dos o más factores, se empleó para medir el efecto individual y la prueba U mann - Whilthey para medir el efecto conjunto entre los tratamientos utilizando como variable respuesta la concentración de materia orgánica (DQO y DBO₅) en el efluente

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Excel y PAST..

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Figura 1 se muestran los niveles de remoción de materia orgánica en términos de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅). Los sistemas de tratamiento con patrón biológico *Typha Angustifolia* y *Scirpus Californicus* alcanzaron puntos de quiebre máximos de 86,3% y 86,52% respectivamente. Entre tanto, el sistema de tratamiento control obtuvo un porcentaje de remoción de 50,42%. Las tendencias evidencian un crecimiento significativo en función del tiempo de análisis, por lo que destaca la estabilidad que adquiere el sistema con el paso del tiempo. Además, se observa la poca diferencia en porcentaje de remoción que se obtuvo en la evaluación de los tratamientos con patrón biológico en función de la DBO₅ , mientras que el testigo se mantuvo con índices de remoción interesantes pues evidencia que el proceso de filtración y sedimentación del fluido por el paso del sistema proporciona condiciones de depuración que hacen funcional el sistema. Ver figura 1.

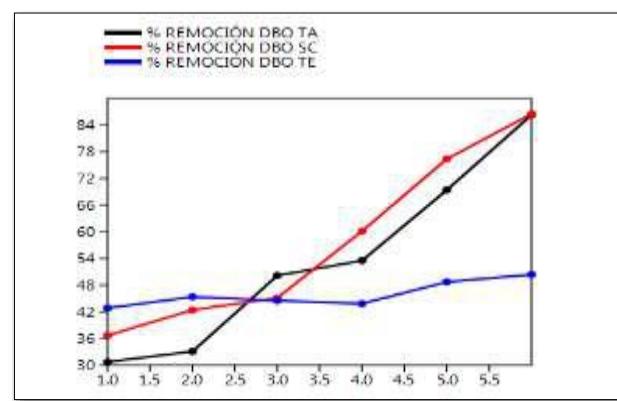


Figura 1. Índices máximos en porcentajes de remoción de la DBO₅ en el sistema

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Los datos agrupados de la DBO₅ se pueden observar en la figura 2, que contiene la dispersión de los datos, medianas y percentiles. La Figura 2 muestra el comportamiento de remoción normal estándar de materia orgánica, observando la similitud de los valores debido al comportamiento y tendencias de remoción afín.

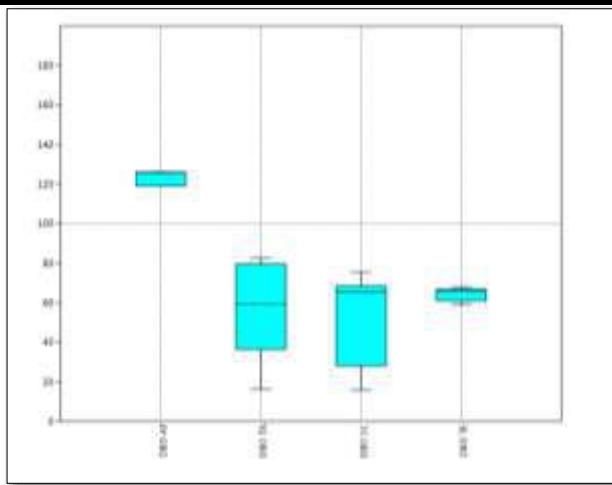


Figura 2. Análisis comparativo y descriptivo del comportamiento de remoción de la DBO5

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), el segundo parámetro de respuesta del sistema presentó porcentajes de remoción que indican los niveles destacables de eficiencia de los tratamientos. La curva de remoción fluctuó de la siguiente manera, el punto máximo de remoción del tratamiento con patrón Biológico *Typha Angustifolia* fue 88,21%, para el tratamiento con patrón Biológico *Scirpus Californicus* fue de 89,78% y para el tratamiento control o blanco de 33,48%, como se puede evidenciar en la figura 3.

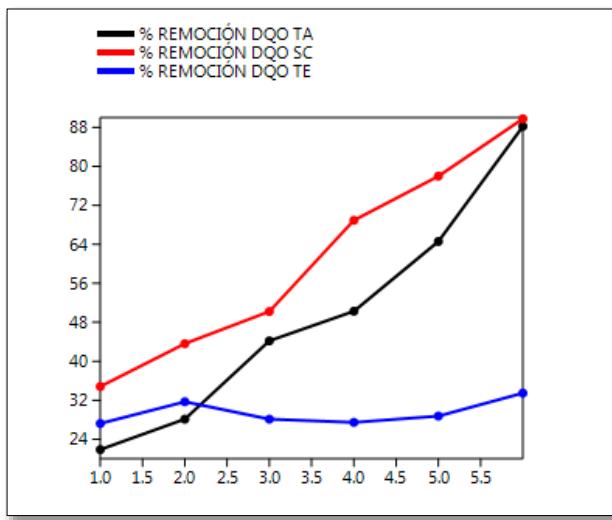


Figura 3. Índices máximos en porcentajes de remoción de la DQO en el sistema.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Es importante destacar las tendencias de remoción, en el patrón biológico *Typha Angustifolia*, a pesar que siempre

tuvo porcentajes de remoción menores la curva se mantuvo creciendo en función del tiempo de análisis; con el patrón *Scirpus californicus* se evidencia que los niveles de remoción mantuvieron óptimos en relación a los tratamientos evaluados, pero los puntos máximos en el último día analizado fueron similares.

Los datos agrupados de la DQO se pueden observar en la figura 4, que contiene la dispersión de los datos, medianas y percentiles; permitiendo analizar el comportamiento de remoción normal estándar de materia orgánica; es importante destacar los valores de medianas de los patrones biológicos, ya que aunque presentan similitud, la tendencia establece valores favorables hacia el patrón *Scirpus Californicus*.

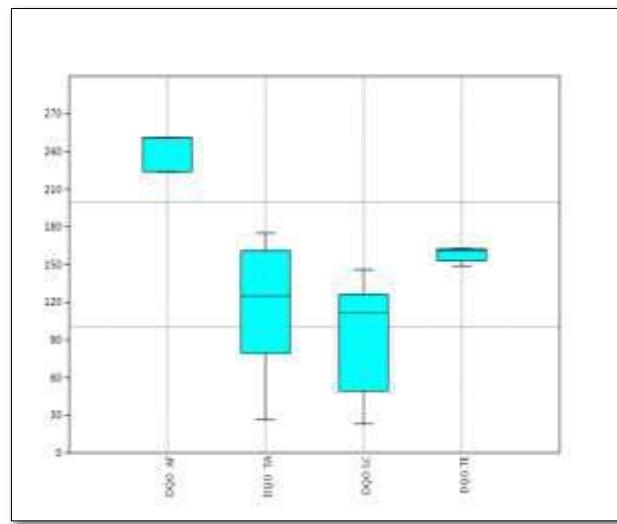


Figura 4. Análisis comparativo y descriptivo del comportamiento de remoción de la DQO.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

En el cuadro 1 se presenta el resultado de test de normalidad de los datos DBO y DQO utilizando los softwares estadístico PAST y EXCEL. Se obtuvo un comportamiento anormal, lo que conllevó a un tratamiento estadístico con variables no paramétricas. La prueba de normalidad aplicada fue NORMALITY TESTS. En el cuadro 1 y 2 se presentan los datos de significancia estadística.

Cuadro 1. Test de normalidad DBO

	NORMALITY TESTS			
	DBO mgO2/I AF	DBO mgO2/I TA	DBO mgO2/I SC	DBO mgO2/I TE
N	6	6	6	6
Shapiro-Wilk W	0,6827	0,9393	0,9115	0,9036
p(normal)	0,004039	0,6538	0,4465	0,3959

p< 0.05 Ho. Los datos se ajustan a una distribución Normal estándar

p> 0.05 Ha. Los datos no se ajustan a una distribución Normal estándar

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Cuadro 2. Test de normalidad DQO

NORMALITY TESTS				
	DQO mgO2/I AF	DQO mgO2/I TA	DQO mgO2/I SC	DQO mgO2/I TE
N	6	6	6	6
Shapiro-Wilk W	0,6827	0,9594	0,9525	0,8541
p(normal)	0,004039	0,8149	0,7606	0,1697
p< 0.05 Ho.	Los datos se ajustan a una distribución Normal estándar			
p < 0.05 Ha.	Los datos no se ajustan a una distribución Normal estándar			

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Obtenido el comportamiento de los datos, en este caso como variables No Paramétricas, se aplicaron las pruebas estadísticas de U de Mann-Whitney (Fligner-Kileen test for equal coefficients of variation); para la DBO5. Ver cuadro 3, 4 y 5.

Cuadro 3. Prueba de Mann whitney para DBO (*Typha Angustifolia*), en el agua residual comparando el Afluente vs Efluente.

Fligner-Kileen test for equal coefficients of variation			
DBO mgO2/I AF	DBO mgO2/I TA		
N:	6	N:	6
CV:	3,1298	CV:	46,224
95% conf.:	(3,1298 6,2597)	95% conf.:	(19,753 75,937)
T:	7,2285	p< 0.05 Ha.	La relación de datos
Expected T:	4,0025	Afluente/efluente	presenta diferencias
z:	2,2349		significativas.
p (one-tailed):	0,012713	p> 0.05 Ho.	La relación de datos
p (two-tailed):	0,025427	Afluente/efluente	no presenta
			diferencias significativas.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Cuadro 4. Prueba de Mann whitney para DBO (*Scirpus Californicus*), en el agua residual comparando el Afluente vs Efluente

Fligner-Kileen test for equal coefficients of variation			
DBO mgO2/I AF	DBO mgO2/I SC		
N:	6	N:	6
CV:	3,1298	CV:	47,698
95% conf.:	(3,1298 6,2597)	95% conf.:	(24,803 80,966)
T:	7,2285	p< 0.05 Ha.	La relación de datos
Expected T:	4,0025	Afluente/efluente	presenta diferencias
z:	2,2349		significativas.
p (one-tailed):	0,012713	p> 0.05 Ho.	La relación de datos
p (two-tailed):	0,025427	Afluente/efluente	no presenta
			diferencias significativas.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Cuadro 5. Prueba de Mann whitney para DBO (control), en el agua residual comparando el Afluente vs Efluente

Fligner-Kileen test for equal coefficients of variation			
DBO mgO2/I AF	DBO mgO2/I TE		
N:	6	N:	6
CV:	3,1298	CV:	5,4897
95% conf.:	(3,1298 6,2597)	95% conf.:	(4,1787 9,6273)
T:	5,9098	p< 0.05 Ha.	La relación de datos
Expected T:	4,0025	Afluente/efluente	presenta diferencias
z:	1,3424		significativas.
p (one-tailed):	0,08974	p> 0.05 Ho.	La relación de datos
p (two-tailed):	0,17948	Afluente/efluente	no presenta
			diferencias significativas.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Para el caso de DQO, se aplicó la misma prueba estadística y los resultados fueron similares, en todos los casos el análisis estadístico arrojó que hay diferencias significativas en las concentraciones que entran al sistema en relación con las que salen. Ver cuadros 6, 7 y 8.

Cuadro 6. Prueba de Mann whitney para DQO (*Typha Angustifolia*), en el agua residual comparando el Afluente vs Efluente.

Fligner-Kileen test for equal coefficients of variation			
DQO mgO2/I AF	DQO mgO2/I TA		
N:	6	N:	6
CV:	6,2267	CV:	48,35
95% conf.:	(6,2267 12,453)	95% conf.:	(17,092 81)
T:	7,2285	p< 0.05 Ha.	La relación de datos
Expected T:	4,0025	Afluente/efluente	presenta
z:	2,2253		diferencias significativas.
p (one-tailed):	0,013031	p> 0.05 Ho.	La relación de datos
p (two-tailed):	0,026061	Afluente/efluente	no presenta
			diferencias significativas.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Cuadro 7. Prueba de Mann whitney para DQO (*Scirpus Californicus*), en el agua residual comparando el Afluente vs Efluente.

Fligner-Kileen test for equal coefficients of variation			
DBQ mgO2/I AF	DBQ mgO2/I SC		
N:	6	N:	6
CV:	6,2267	CV:	54,643
95% conf.:	(6,2267 12,453)	95% conf.:	(27,7 87,001)
T:	7,2285	p< 0.05 Ha.	La relación de datos
Expected T:	4,0025	Afluente/efluente	presenta
z:	2,2253		diferencias significativas.
p (one-tailed):	0,013031	p> 0.05 Ho.	La relación de datos
p (two-tailed):	0,026061	Afluente/efluente	no presenta
			diferencias significativas.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Cuadro 8. Prueba de Mann whitney para DQO (control), en el agua residual comparando el Afluente vs Efluente.

Fligner-Kileen test for equal coefficients of variation			
DQO mgO2/I AF	DQO mgO2/I TE		
N:	6	N:	6
CV:	6,2267	CV:	3,6112
95% conf.:	(6,2267 12,453)	95% conf.:	(2,7699 6,4646)
T:	3,2692	p< 0.05 Ha.	La relación de datos
Expected T:	4,0025	Afluente/efluente	presenta diferencias
z:	0,51469		significativas.
p (one-tailed):	0,30339	p> 0.05 Ho.	La relación de datos
p (two-tailed):	0,60677	Afluente/efluente	no presenta
			diferencias significativas.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

En el cuadro 9 se muestra el resultado de la Prueba de Kruskal-Wallis aplicada al universo de datos y variables que intervienen en el proceso de identificación del tratamiento (especie) más eficiente. En éste se observa que para el caso de la DBO, los datos no presentan diferencias significativas. Esto debido a la tendencia creciente en porcentajes de remoción y estabilidad de los datos obtenidos en el periodo de análisis, es decir; los rangos de crecimiento de cada

tratamiento fueron similares por lo que los sistemas presentaron comportamientos estables en cuanto a niveles de aumento de porcentajes de remoción.

Cuadro 9. Prueba de Kruskal-Wallis para DBO en los sistema piloto

	DBO mgO2/I TA	DBO mgO2/I SC	DBO mgO2/I TE
DBO mgO2/I TA		1	1
DBO mgO2/I SC	1		1
DBO mgO2/I TE	1	1	

p< 0.05 Ha. La relación de datos Afluente/efluente presenta diferencias significativas.

p> 0.05 Ho. La relación de datos Afluente/efluente no presenta diferencias significativas.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

Para el caso de la DBO, los datos presentaron diferencias significativas en la comparación del tratamiento con patrón vegetal *Scirpus Californicus* en relación con el tratamiento Testigo, lo que destaca que los niveles de remoción tienen diferencias relevantes que permiten diferir sobre la eficiencia del sistema con patrón vegetal frente al tratamiento testigo; situación que no se presenta con el tratamiento con patrón vegetal *Typha Angustifolia* en donde estadísticamente no se presentan diferencias significativas con ninguno de los demás tratamientos.

Cuadro 10. Prueba de Kruskal-Wallis para la DQO en los sistema piloto

	DQO mgO2/I TA	DQO mgO2/I SC	DQO mgO2/I TE
DQO mgO2/I TA		1	0,5982
DQO mgO2/I SC	1		0,01522
DQO mgO2/I TE	0,5982	0,01522	

p< 0.05 Ha. La relación de datos Afluente/efluente presenta diferencias significativas.

p> 0.05 Ho. La relación de datos Afluente/efluente no presenta diferencias significativas.

Fuente: Quintero, Meneses, Devia & Prado. 2016.

IV. CONCLUSIÓN

La evaluación de las especies vegetales *Typha Angustifolia* y *Scirpus Californicus* en función de la remoción de materia orgánica medida a través de las variables de respuesta (DBO5 y) DQO, presentó niveles de remoción destacables, generando una curva de remoción con punto de quiebre máximo de 86,30% para el tratamiento con patrón Biológico *Typha Angustifolia*, 86,52% para el tratamiento con patrón Biológico *Scirpus Californicus* y 50,42% para el tratamiento de control y para la *Typha Angustifolia* fue 88,21%, para el tratamiento con patrón Biológico *Scirpus Californicus* fue de 89,78% y para el tratamiento control de 33,48% respectivamente.

Al realizar el análisis estadístico de la data obtenida se concluye que entre los sistemas de tratamiento que poseían patrón vegetal no hubo diferencias significativas; es decir, los

porcentajes y rangos de remoción fueron similares en los dos patrones biológicos utilizados en la investigación. Por lo tanto el punto de análisis va a diferir con respecto a los puntos máximos y mínimos de remoción de materia orgánica en cada sistema.

Los resultado obtenidos en el sistema piloto de humedales artificiales con patrones vegetales *Scirpus Californicus* y *Typha Angustifolia*, destacan esta técnica de reducción de la contaminación orgánica en aguas como una alternativa eficiente a nivel tecnológico, económico, ecológico y social que contribuye al uso, manejo y conservación de la biodiversidad del territorio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ, al Semillero de Investigación Conciencia Verde y al Núcleo de Investigación en Biotecnología Ambiental – NIBA.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANGARITA HERNÁNDEZ, Julieth Paola. Tesina: Estimación del balance hídrico anual, en el humedal artificial del Tancat de la Pipa, con apoyo de modelos matemáticos de calidad de aguas; para contaminantes conservativos. Valencia, España. 2010. p.18.
- [2] BASTIAN, R. HAMMER, D. Constructed Wetlands for water Quality Improvement: The use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Recycling. Chelsea, Michigan, Estados Unidos.1993.
- [3] BEREZOWSKY, M. Constructed Wetlands for Remediation of Urban Wastewaters. Boojum Technologies Limited. Toronto, Canadá.1996.
- [4] BETANCOURTH, Marisol. BOTERO, Javier Enrique. RIVERA, Sandra Patricia. Biopelícula: Una comunidad microscópica en desarrollo. Revista Colombia Médica. UNIVERSIDAD DEL VALLE. FACULTAD DE SALUD. Cali, Colombia. Vol. 35. 2004. p.34-39. Disponible en: <http://www.bioline.org.br/request?rc04034>. [En línea].
- [5] BLOG DEL AGUA. Colombia. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Disponible en: <http://blogdelagua.com/inicio/internacional/colombia-humedales-artificiales-para-tratamiento-de-aguas-residuales/>. [En línea].
- [6] CÁRDENAS SÁNCHEZ, Ana Carolina. Evaluación del desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviado de rellenos sanitarios. Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 2012. p.17.110p.
- [7] CORZO HERNANDEZ, Angélica. GARCIA SERRANO, Joan. Depuración con Humedales

Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Universidad Politécnica de Catalunya. Catalunya, España. 2008. p1. 98p.

[8] CUBILLOS, Armando. Parámetros y Características de las aguas residuales. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). Lima, Perú. 2002. p.1. 31p.

[9] Disponible en internet: <http://herbarivirtual.uib.es/cas-ub/especie/4586.html>

[10] Disponible en internet: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/472/449>

[11] ESTRADA GALLEGOS, Islena Yineth. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 2010. p.47.

[12] FERNÁNDEZ MARTÍN, José. Dinámica de nutrientes y crecimiento de un cultivo de totora (*Typha latifolia*) desarrollados en un efluente con potencial de aplicación eutrófico alto a sistemas de purificación de aguas residuales. 1992. p.7-12

[13] FINDLAY, George. El proceso de CBR y lechos de juncos de Severn Trent. Curso de Aplicación de Tecnologías Blandas a la depuración de aguas residuales. Proyecto de agua. Empresa general valenciana de agua (EGEVASA), Valencia. Valencia, España. 1997

[14] Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo subsuperficial. US. EPA. 2000.

[15] G.R. Steiner. J.T. Watson. TVA (Tennessee Valley Authority). General Design, Construction, and Operation Guidelines: Constructed Wetlands Wastewater Treatment Systems for Small Users Including Individual Residences. Chattanooga, Tennessee, Estados Unidos. 1993.

[16] GEIA (Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental). Aguas residuales y tratamiento de efluentes cloacales. Anexo IX. Universidad Tecnológica Nacional. Bahía Blanca, Argentina. 2012. p.3-4.

[17] GÓMEZ, D. Diseño de sistemas de biopelícula para tratamiento de aguas residuales. 2000

[18] FERNANDEZ GONZALEZ, Jesús. BEASCOECHEA, Miguel Eduardo. Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. 2013. p.119.

[19] GOPAL, Bezawada. Water Science and Technology. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems. p.159-164. 1999

[20] GRIFFIN, Guy E. Et. Al. Manual de tratamiento de aguas negras. p.33.

[21] KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, volumen II. Primera edición. McGraw Hill. Madrid, España. 1999. p.667.

[22] L, Martin. Depuración de aguas con plantas emergentes. Hojas divulgadoras 16/89 HD.

[23] LAHORA, Agustín. Depuración de Aguas Residuales mediante Humedales Artificiales, La EDAR de los Gallardos: Depuración con humedales artificiales. Almería, España. 2003. p.99-100. 112p

[24] LLAGAS C, W. GÓMEZ, E. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales. V.9, n17. Lima, Perú. Ene/junio de 2006.

[25] MENA, Javier. RODRIGUEZ, Lourdes. NÚÑEZ, José. VILLASEÑOR, José. Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. Alquimia Soluciones Ambientales. Comunicación técnica. Madrid, España. Diciembre de 2008 p.10. 25p. Disponible en internet: http://www.alquimiaimasd.com/UserFiles/ficheros/IdiAplicada/2643_JMena.pdf

[26] MITSCH, William J. GOSSELINK, James G. Wetlands, John Wiley & Sons, Inc. third edition. New York, Estados Unidos. 2000. 920p.

[27] ODUM, H. WOJCIK, W. PRITCHARD, L. TON, S. DELFINO, J. WOJCIK, M. LESZCZYNSKI, S. PATEL, J. DOHERTY, S. STACIK, J. Heavy metals in the Environment: Using wetlands for their removal. Boca Raton, Florida, Estados Unidos. 2000. p.326

[28] P, Griffin, Upton. Constructed wetlands: A strategy for sustainable wastewater treatment at small treatment works, Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental management. 1999. p.441-446.

[29] PÉREZ, O. GONZÁLEZ, O. GONZÁLEZ, S. Estructura de películas biológicas en tratamiento de aguas residuales. Tratamiento de aguas en zonas industriales, urbanas y rurales. 2006

[30] PÉREZ-OLMEDILLA, M. ROJO, C. Función depuradora de los humedales I: una revisión bibliográfica sobre el papel de los micrófitos. Humedales mediterráneos, 1. 2000. p.115-122

[31] QUINTERO C, Jesús A. Evaluación de humedales artificiales pilotos de flujo horizontal y tipo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales. Ingenium, vol. 15, No. 29. 85-112p, mayo, 2014.

[32] QUINTERO C, Jesús A. Monografía sobre humedales artificiales con flujo superficial y flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales. Universidad pontificia bolivariana. Bucaramanga, Colombia. 2014. p.2. 39p.

[33] RADOUX, M. KEMP, D. Approcheécologique et expérimentale des potentialitésépuratrices de quelqueséphytes: *Phragmitesaustralis*, *Typha latifolia* et *Carexacuta*. 1982. p.325-340

[34] ROMERO ROJAS, Jairo A. Lagunas de estabilización de aguas residuales. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1994

[35] SALAS RODRÍGUEZ, Juan José. PIDRE BOCARDO, Juan Ramón. CUENCA FERNÁNDEZ, Inmaculada. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Centa (fundación centro de las nuevas tecnologías del agua). Sevilla, España. 2007.

[36] SKOUSEN, Jeff. Overview of passive systems for treating acid mine drainage, Green Lands. West Virginia University. Virginia, Estados Unidos. 1997. p.34-44

[37] SURFACE, M. PEVERLY, J. STEENHUIS, T. SANFORD, W. Effect of season, substrate composition and plant growth on landfill leachate treatment in a constructed wetland. Constructed wetlands for water quality improvement. Boca Raton, Florida, Estados Unidos. 1993.

[38] TAYLOR, Mark. Constructed Wetlands for Storm, water Management: A review: Ontario Ministry of Environment and Energy. 1992

[39] TCHOBANOGLOUS, G. 1st international seminal on the use of aquatic macrophytes for wastewater treatment in constructed wetlands. A review of treatment kinetics for constructed wetlands. 2003

[40] TCHOBANOGLOUS, George. Sistemas de Manejo de Aguas Residuales. Tomo II McGraw Hill. New York, Estados Unidos. 2000. p. 563.

[41] TIRADO BÁRCENAS, Jessica. RODRÍGUEZ GUZMÁN, Katherine. ALVARINO NIETO, Humberto. Tesis: Diseño, construcción y evaluación de la eficiencia de un sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala piloto, utilizando la rizofiltración a partir de las especies *Echiorniacrassipes* y *Phragmitesaustralis* ubicada en el Centro de Investigación Santa Lucía del Instituto Universitario de La Paz Barrancabermeja, Santander. Instituto Universitario de La Paz. Barrancabermeja, Colombia. 2014.

[42] U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Handbook of Constructed Wetlands. Natural Resources Conservation Service Pennsylvania Department of Natural Resources. Washington, D.C., Estados Unidos. 1995.

[43] US EPA (United States Environmental Protection Agency). Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. Office of Research and Development EPA/625/R-99/010. Cincinnati, Estados Unidos. 2000. p.12-97

[44] US EPA. U.S. Environmental Protection Agency. Constructed Treatment Wetlands. EPA 843-F-3-013. Office of Water. Agosto, 2004. Disponible en: <http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/ConstructedW.pdf>. [En línea].

[45] VYMAZAL, J. BRIX, H. PERFLER, R. LABER, J. Removal mechanisms and types of constructed wetlands. Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe. Leiden, Holanda. 1998. Tomado de: QUINTERO CARDOZO, Jesús A.

[46] VYMAZAL, J. Water Science and Technology. Constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic the first five years' experience. 1996. p. 159 – 164.

[47] WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Natural Systems for Wastewater Treatment, Manual of Practice. Alexandria, Virginia, Estados Unidos. 1990.

[48] WELTER, Adriana. ROMERO, José. GRUMELLI, Yanina. SÁNCHEZ, José. ASCAR, Graciela. La biopelícula en los procesos RBC. Universidad Católica de Córdoba. Facultad de Ingeniería. Córdoba, Argentina. 2004. p.8. 17p.